



УДК 656.2

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57).8-15

Р. Ю. Упырь, Н. В. Давыдова, Ц. Хурэлбаатар

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация
 Дата поступления: 12 января 2018 г.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУЗА И ВАГОНА

Аннотация. В работе рассматриваются подходы для оценки динамических взаимодействий груза и железнодорожного подвижного состава. Предложены способы изготовления проволочных элементов крепления, основанные на использовании геометрических представлений об особенностях их структуры при построении искомого элемента на основе расчетных схем. Определены начальные геометрические и структурные параметры проволочной растяжки в виде числа оборотов, углов и шагов свивки и др. Показано влияние предварительного натяжения на прочностные свойства проволочной растяжки. Приведены зависимости прочностных свойств от основных геометрических параметров проволочных растяжек. Авторами показано, что проволочная растяжка как крепежный элемент, в отличие от классических представлений, может рассматриваться при динамических взаимодействиях как упругое звено, звено с преобразованием движения и в качестве обобщенной динамической связи со свойствами как упругого элемента, так и устройства с преобразованием движения. Учет влияния дополнительных упруго-инерционных связей, накладываемых при рассмотрении базовых расчетных схем взаимодействия «груз - вагон», представляется авторам целесообразным ввиду того, что дополнительная упруго-инерционная связь приводит к появлению новых эффектов в рассматриваемой колебательной системе, которые ранее не учитывались. Предложен способ определения усилий в проволочных элементах крепления путем непосредственных измерений для контроля сохранности груза, обеспечения надежного его закрепления на железнодорожном подвижном составе.

Ключевые слова: проволочная растяжка, крепежный элемент, свивка, крепление груза, расчет усилий, жёсткость, математические модели.

R. Yu. Upyr', N. V. Davidova, Ts. Khurelbaatar

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation
 Received: January 12, 2018

THE EMERGENCE AND EVALUATION OF THE DYNAMIC INTERACTION BETWEEN FREIGHT AND ROLLING STOCK

Abstract. The article considers approaches for assessing the dynamic interactions of freight and railway rolling stock.

The authors propose methods for the production of wire fastening elements, based on the use of geometric representations about the features of their structure in constructing the desired element on the basis of computational schemes. The original geometric and structural parameters of the bracing wire are determined in the form of the number of turns, lay angles and pitches, etc. The paper demonstrates the effect of pretension on the strength properties of the bracing wire. It presents dependences of strength properties on the basic geometric parameters of the bracing wires. The authors have shown that the bracing wire as a fastening element, in contrast to classical concepts, can be considered in dynamic interactions as an elastic link, a link with the motion transformation, and as a generalized dynamic link with both the properties of the elastic element and the motion transformation device. Allowance for the effect of additional elastic-inertial bonds that are imposed while considering the basic computational schemes for the freight and rail car interaction seems expedient in view of the fact that an extra elastic-inertial coupling leads to the emergence of new effects in the considered oscillatory system that have not been previously taken into account. To determine the forces in the bracing wire elements, a method of direct measurements is proposed in order to monitor the freight safety, ensuring that it is reliably fastened on the railway rolling stock.

Keywords: bracing wire, fastening element, lay, fastening of freight, calculation of efforts, rigidity, mathematical models.

Введение

Важнейшим фактором, определяющим условия бесперебойного обеспечения перевозочного процесса, стабильного пропуска поездов согласно графику движения, является обеспечение надежности закрепления груза на железнодорожном подвижном составе от пункта погрузки до пункта выгрузки. Надежное закрепление груза позволяет снизить количество «отцепок» вагонов от поезда, сократить количество коммерческих браков, повысить скорость доставки груза по железной дороге и его сохранность.

В зависимости от характера груза, физической возможности его размещения и крепления для перевозки используют различного рода подвижной состав, при размещении в котором применяют стандартизированные устройства для крепления груза [20, 21]. В связи с этим возникают либо «жесткие», либо «упругие» связи между грузом и подвижным составом. В случае «жесткого» крепления действие на груз внешних динамических сил, возникающих при движении подвижного состава, компенсируется крепежными элементами, при креплении которыми не происходит смещения гру-



за. В настоящее время существует множество работ, посвященных моделированию условий крепления груза на железнодорожном подвижном составе при «жестком» закреплении [13-17], однако вопрос возможности появления «упругих» взаимодействий и оценки их влияния не получил должного внимания, хотя и был рассмотрен с некоторых позиций в ряде работ [1-4, 9].

Сам факт существования упругих взаимодействий груза и подвижного состава, учет динамических усилий при их взаимодействии вследствие возникновения колебательных процессов является актуальным вопросом при организации высокоскоростного движения на железнодорожном транспорте.

Исследования вопросов динамики взаимодействия груза и вагона представляют особый интерес с позиции надежности закрепления груза, обеспечения безопасности движения и влияния на динамику взаимодействия системы рессорного подвешивания вагона, вагона и нижнего строения пути, ввиду того, что наличие «упругих связей», при появлении которых возникают колебательные процессы, может приводить к расстройству погрузки груза, его смещению и, соответственно, возникновению «нештатных ситуаций» в процессе перевозки.

О возникновении упругих связей

После размещения груза на железнодорожном подвижном составе необходимо произвести его закрепление. Данный процесс, как правило, осуществляется при помощи проволоки, из которой изготавливается проволочная растяжка, способ формирования которой подробно описан в работе [1]. Физическая модель проволочной растяжки представлена на рис. 1.

Модели ромба и эллипса

Для детализации представлений о структуре данной модели рассмотрим способы ее изготовления [2, 9, 18]. В классической постановке задачи проволочная растяжка работает на растяжение-сжатие как жесткий стержень, однако при учете его кривизны возникает иная ситуация, в которой справедливы модели изготовления (свивки) в виде ромба или эллипса, детально рассмотренные в работе [18]. Приведем основные положения данных методик.

При свивке проволочных растяжек (параметры свивки представлены на рис. 3) осуществляется процесс закручивания проволоки в тросовую структуру. Можно предложить два начальных положения проволоки – ромб или эллипс (рис. 2).

На рис. 2 представлены модели начальной структуры в виде ромба и эллипса, с использованием

следующих обозначений: B - расстояние между местами крепления на грузе и вагоне, A - задаваемое расстояние между ветвями растяжки. Для эллипса (рис. 2, б) физические условия подобны.



Рис. 1. Физическая модель проволочной растяжки

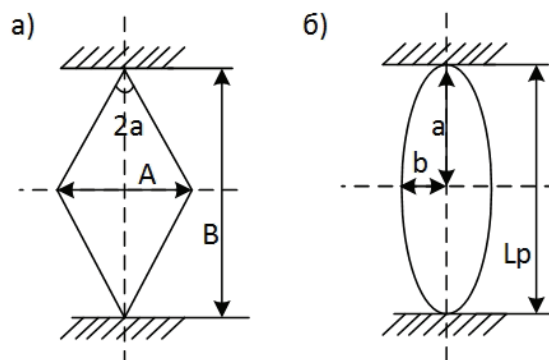


Рис. 2. Расчетные схемы для формирования структуры проволочных элементов крепления

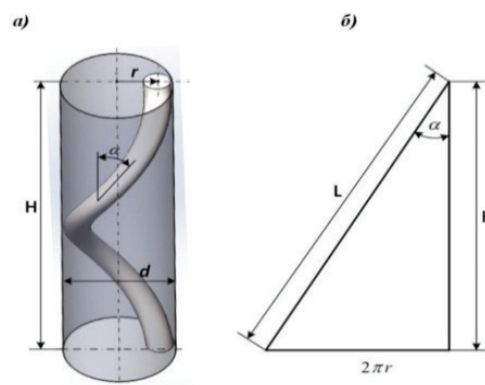


Рис. 3. Геометрические параметры и развертка винтовой линии

Опуская промежуточные преобразования, получим два варианта модели проволочной растяжки при начальной структуре:



- в виде ромба

$$\begin{cases} H = \frac{\pi D_{св} B}{A}; \\ D_{св} = \frac{d_i}{\sin \frac{180}{n}}; \\ c = \frac{L_{раст}}{2H}, \end{cases} \quad (1)$$

где n - число нитей;

H и c - соответственно шаг и количество шагов свивки;

L - длина винтового элемента на шаге свивки, мм;

d_i - диаметр проволоки, мм;

$D_{св}$ - диаметр свивки.

- в виде эллипса

$$\begin{cases} H = \frac{8a\pi r}{\sqrt{L_{пров}^2 - 16a^2}}; \\ n_{об} = \frac{L_{раст}}{2P}, \end{cases} \quad (2)$$

где $n_{об}$ - число оборотов;

$L_{пров}$ - длина проволоки;

$L_{раст}$ - длина растяжки.

Рассмотренные модели позволяют определить начальные параметры проволочных средств крепления при изготовлении. Использование той или иной конкретной модели, а точнее, ее выбор обуславливается степенью точности и детализации прикладных расчетов.

Метод геометрического синтеза

Одним из методов построения проволочных средств крепления, их свивки, позволяющих с достаточной точностью определять характеристики, необходимые для динамических расчетов, является методика геометрического синтеза, детально рассмотренная в работе [2], исходные положения которой представлены на рис. 3. Применение данной методики позволяет получить связь [1, 6, 7] между продольной силой T , крутящим моментом $M_{кр}$, продольной деформацией ε и относительным углом закручивания φ проволочных растяжек в общем виде:

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot d_{11}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2} - \frac{T \cdot d_{12}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}, \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{T \cdot d_{22}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2} - \frac{M_{кр} \cdot d_{12}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}, \quad (4)$$

где d_{11} и d_{22} - обобщенные коэффициенты жесткости при растяжении и кручении; d_{12} - обобщенный коэффициент влияния [6, 7].

$$d_{11} = \pi \cdot k_1 \cdot a^2 \cdot E_1 \cdot \left[1 - \left(1 + \frac{\nu}{2} \right) \sin^2 \alpha \right], \quad (5)$$

$$d_{12} = \pi \cdot k_1 \cdot a^3 \cdot E_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha \frac{\left[1 - \left(\frac{4}{3} + \nu \right) \sin^2 \alpha \right]}{2}, \quad (6)$$

$$d_{22} = \pi \cdot k_1 \cdot a^4 \cdot E_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \frac{\left[1 - \left(\frac{3}{2} + \frac{3\nu}{4} \right) \sin^2 \alpha \right]}{3}. \quad (7)$$

Из выражений (3), (4) можно сделать вывод, что продольная сила, помимо деформаций, порождает кручение, а крутящий момент, в свою очередь, - продольную деформацию.

Процесс «свивки» проволочной растяжки производится путем вращения начальной структуры в виде ромба (или эллипса), при этом можно выделить две зоны свивки, равные между собой (рис. 4).

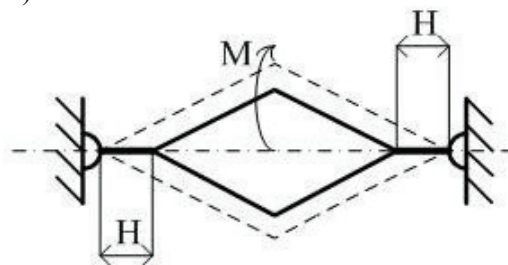


Рис. 4. Расчетная схема при скручивании

Если рассматривать растяжку с двумя зонами свивки (полагая, что один конец ее закреплен, а другой может свободно вращаться), то она под действием внутреннего крутящего момента будет раскручиваться. При этом в случае, если внешний момент можно полагать равным нулю, то с учетом преобразований получим:

$$\varphi = - \frac{T \cdot d_{12}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}, \quad (8)$$

$$\varepsilon = \frac{T \cdot d_{22}}{d_{11} \cdot d_{22} - d_{12}^2}. \quad (9)$$

После подстановки выражений (5)-(7) в (8), (9) можно получить формулы для определения значений продольной деформации и относительного угла закручивания для проволочных растяжек, описывающие их начальное состояние.

Влияние угла свивки на изменение жесткости

Исходя из классических представлений, жесткость проволочной растяжки при растяжении можно определить из выражения [10]:

$$K = (EF)_k = \sum E_i F_i \cos^3 \alpha_i \cos^3 \beta_i, \quad (10)$$

где E_i – модуль упругости материала проволок;

α – средний угол свивки.

F – площадь поперечного сечения проволоки.

После некоторых преобразований получим следующее выражение:

$$E_k = E \cos^4 \alpha. \quad (11)$$

Подставляя выражение (11) в (10), получим:

$$K = (EF)_k = E_k F \cos^7 \alpha. \quad (12)$$

Для определения зависимости жесткости от угла свивки растяжки будем полагать, что площадь поперечного сечения F постоянна и равна $113,04 \text{ мм}^2$ [10], диаметр проволоки равен 6 мм, количество нитей в растяжке примем равным 6. Тогда, используя выражение (12), получим зависимость, приведенную на рис. 5.

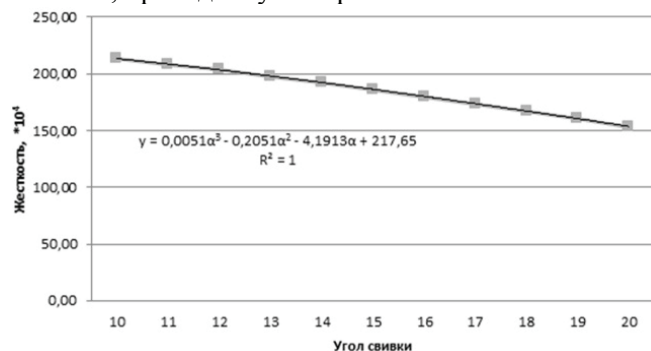


Рис. 5. Диаграмма изменения жесткости в зависимости от угла свивки проволочной растяжки

Следует отметить, что данная зависимость получена без учета влияния предварительного натяжения проволок.

При практическом использовании проволочная растяжка может состоять из 2 и до 8 нитей. Для исследования влияния количества нитей на жесткость проволочной растяжки примем следующие исходные данные: диаметр проволоки равен 6 мм, угол свивки растяжки возьмем $\alpha = 17$ градусов. Используя выражения из [2], для определения диаметра свивки получим

$$D_{св} = D_{раст} - d_i = \frac{d_i}{\sin \frac{180}{n}}, \quad (13)$$

где $D_{раст}$ – диаметр растяжки i -го слоя, мм;

d_i – диаметр проволоки i -го слоя, мм;

n – количество проволок в слое.

При подстановке (13) в (12) выражение для определения жесткости примет вид:

$$K = (EF)_k = E_k \cos^7 \alpha \times \pi \cdot \frac{1}{4} \left(\frac{d_i}{\sin \frac{180}{n}} \right)^2. \quad (14)$$

Построим график зависимости изменения жесткости проволочной растяжки при заданном угле свивки $\alpha = 17$, а также без его учета (рис. 6). Для количества нитей от 5 до 8 жесткость будет одинаковой, т. к., согласно [2], диаметры свивки для данного числа нитей равны между собой, и, соответственно, значения от 5 до 8 нитей не учитываем.

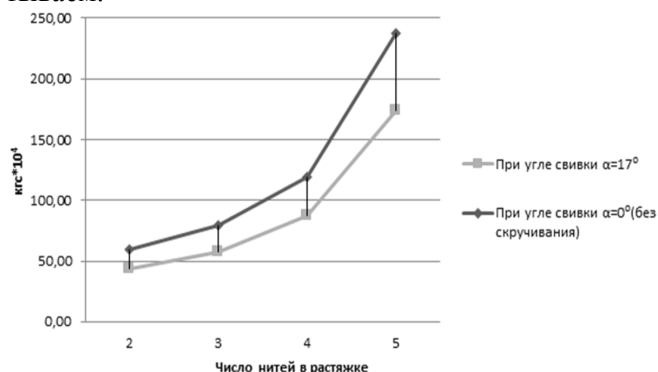


Рис. 6. Диаграмма изменения жесткости проволочной растяжки от количества нитей

Как видно из графика, с увеличением числа нитей жесткость растяжки растет за счет увеличения площади поперечного сечения по квадратичной зависимости. Если принимать в учет угол свивки, то следует отметить, что жесткость при его увеличении снижается.

Таким образом, детальное рассмотрение структуры проволочной растяжки, способа и методики ее изготовления, учет новых параметров, в частности угла свивки, шага свивки и др., позволяет говорить о необходимости принимать во внимание возникающую упругость при рассмотрении моделей взаимодействия груза и вагона и учитывать связи как упругие с соответствующими корректировками математических моделей.

Запас прочности и возникающие напряжения при свивке

Процесс свивки проволочной растяжки также связан с возникновением начальных упругих деформаций и некоторого предварительного напряжения [10]. Опираясь на аналитический аппарат, изложенный в работе [10], напряжения в проволочной растяжке в зависимости от числа оборотов можно определить из выражения:



$$\sigma_i = \frac{T}{F \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r \cdot n_{об}}{L_{пров}} \right)^2}} \cdot D_{св} \leq [\sigma]. \quad (15)$$

Вероятность выхода из строя приблизительно можно оценить с помощью коэффициента запаса в условии прочности [19]:

- $n = 1$ соответствует вероятности невыхода из строя 50 %;
- $n = 1,2$ соответствует вероятности невыхода из строя 90 %;
- $n = 1,5$ соответствует вероятности невыхода из строя 99 %.

Будем полагать, что диапазон напряжений находится в диапазоне значений коэффициента запаса прочности от 1 до достижения значения n равно 1,5. Задаваясь значениями радиуса проволоки 3 мм, $a = 500$ мм, $b = 12,5$ мм, получим зависимость осевого усилия от количества оборотов для числа нитей, равного 2, 4, 6, 8 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Осевое усилие от действия груза

| Количество нитей | Число оборотов | Фактический коэффициент запаса прочности | Осевое усилие от действия груза |
|------------------|----------------|--|---------------------------------|
| 2 | 15,49 | 1,5 | 2940 |
| 4 | 10,95 | 1,5 | 4165 |
| 6 | 7,75 | 1,5 | 4410 |
| 8 | 7,75 | 1,5 | 5880 |

Графическая интерпретация представлена на рис. 7.



Рис. 7. Диаграмма изменения напряжения от количества нитей в растяжке при фиксированном коэффициенте запаса прочности

Из полученных зависимостей следует, что при увеличении числа нитей, увеличиваются и допустимые значения максимальной осевой нагрузки, которую может выдерживать растяжка из условия соблюдения безопасности движения.

Выражая из (15) количество оборотов $n_{об}$, получим:

$$n_{об} = \frac{\sqrt{1 - \frac{T^2 D_{св}^2}{\sigma^2 \cdot F^2}}}{4 \cdot \pi \cdot r} \cdot L_{пров}. \quad (16)$$

При тех же исходных данных построим зависимости изменения прочности при изменении количества оборотов нитей проволоочной растяжки, в сравнении с коэффициентом запаса (рис. 8).

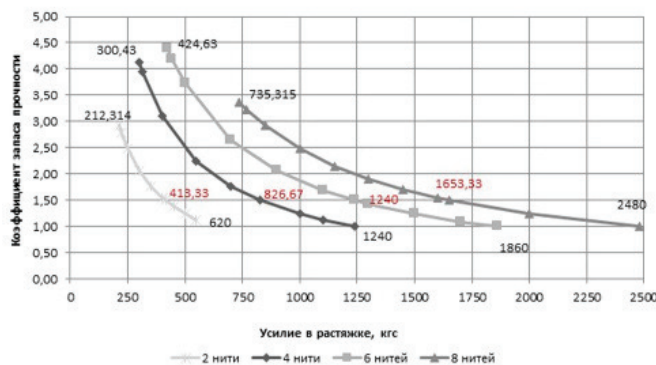


Рис. 8. Диаграмма изменения коэффициента запаса прочности в зависимости от создаваемого усилия в проволоочной растяжке

До скручивания проволоочная растяжка имеет постоянный коэффициент запаса прочности. Процесс скручивания проволоки приводит к постепенному увеличению напряжения и уменьшению коэффициента запаса прочности (рис. 8), при этом число оборотов изменяется от 5 до 11.

Исходные расчетные схемы и способы измерения усилий

Рассмотренные подходы к определению учета особенностей структуры проволоочной растяжки позволяют внести корректировки в расчетные схемы, математические модели путем учета возникновения упругих связей [12]. К примеру, типовая схем размещения двух грузов на железнодорожной платформе (рис. 9, б) может быть преобразована в расчетную схему (рис. 9, в, г), с учетом условий закрепления.

Рассмотрение данных расчетных схем требует дальнейшего детального их изучения и основывается на методиках, описанных автором в работе [11].

Особенности представления проволоочной растяжки и ее конструктивные особенности позволяют применить существующие технологии для измерения напряжений, а также динамических усилий, к примеру, датчик натяжения троса, общий вид которого представлен на рис. 10 [1, 3].

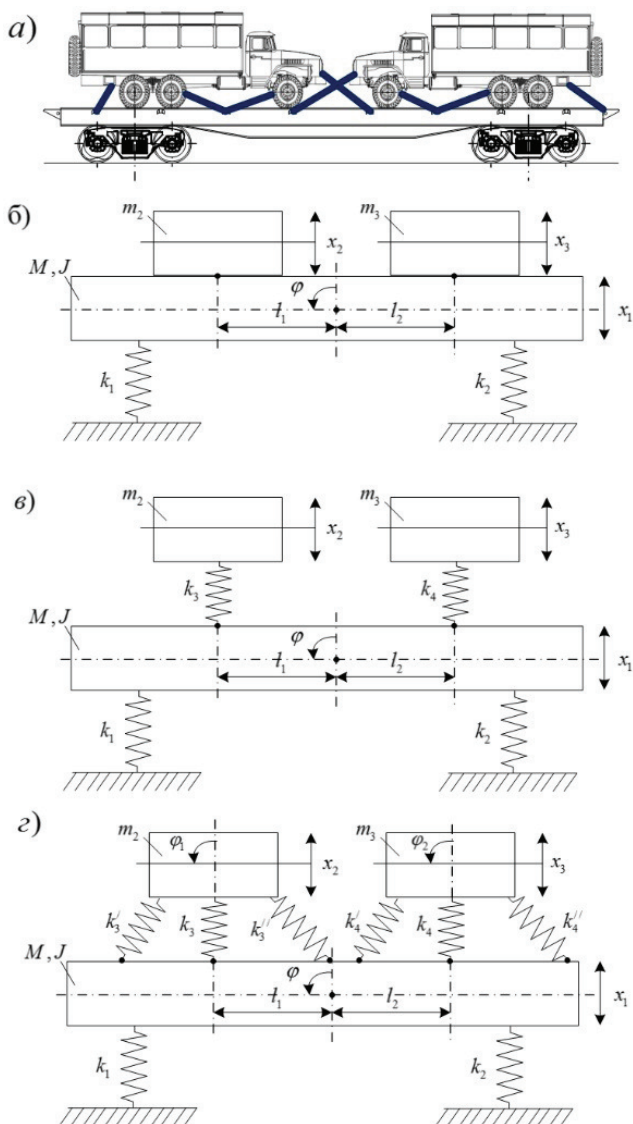


Рис. 9. Физическая модель и возможные расчетные схемы



Рис. 10. Общий вид датчика измерения усилий в растяжке

Конструкция датчика выбирается в зависимости от количества проволок в растяжке и из диаметра. В свою очередь, можно предложить следующую схему расположения датчиков для проведения эксперимента на двух участках рас-

тяжки (рис. 11): выше места скрутки (рис. 11, а), ниже места скрутки (рис. 11, б). Выбор монтажно-го места осуществляется в зависимости от местоположения проволочной растяжки и геометрии погрузки.

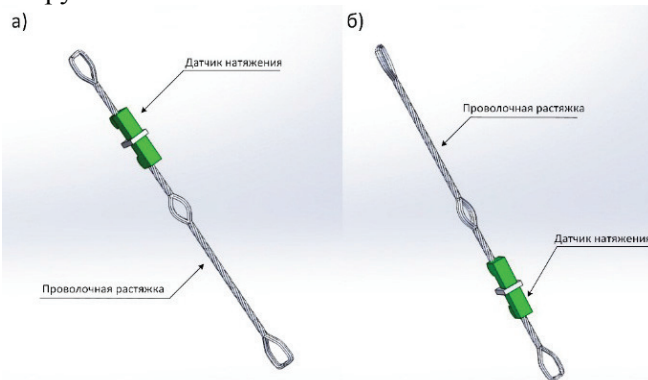


Рис. 11. Схема размещения датчиков на проволочных растяжках: а – выше места скрутки; б – ниже места скрутки

Данный способ измерения позволяет экспериментально подтвердить теоретические данные при соответствующем подборе измерительной аппаратуры и программного обеспечения, к примеру, использование существующего комплекса по определению основных параметров [4], рабочее окно которого представлено на рис. 12.

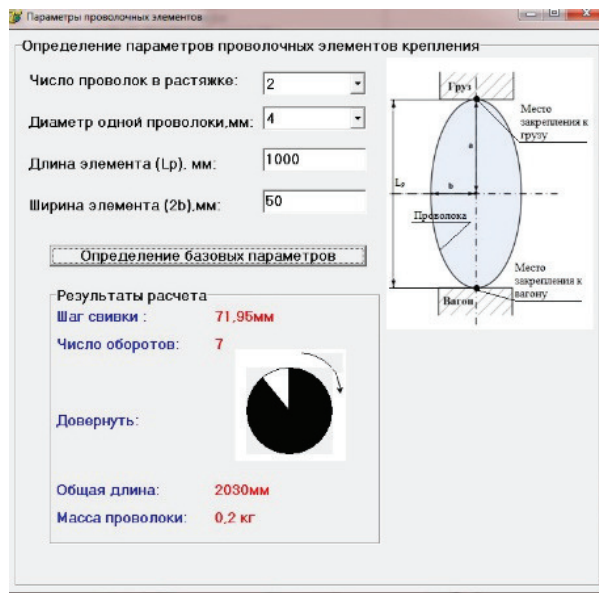


Рис. 12. Рабочее окно программы с примером численного эксперимента

Заключение

Проволочная растяжка как крепежный элемент, в отличие от классических представлений, может рассматриваться при динамических взаимодействиях как упругое звено, звено с преобразованием движения и в качестве обобщенной ди-



намической связи со свойствами как упругого элемента, так и устройства с преобразованием движения.

Учет влияния дополнительных упругих и упруго-инерционных связей, накапливаемых при рассмотрении базовых расчетных схем взаимодействия «груз - вагон», представляется целесообразным ввиду того, что дополнительная упруго-инерционная связь приводит к появлению новых

эффектов в колебательной системе «груз - вагон», которые ранее не учитывались.

Предложенный способ контроля усилий в проволочных элементах крепления позволит создавать управляемые динамические колебательные системы с настраиваемыми параметрами, в частности для контроля сохранности груза, обеспечения надежного его закрепления на железнодорожном подвижном составе, и тем самым - условия для безопасного пропуска поездов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Упырь Р.Ю., Кузнецова А.И., Кожевников В.А. К вопросу определения предварительного натяжения проволочных средств крепления // Наука. Техника. Технологии. 2014. № 4. С. 108–115.
2. Упырь Р.Ю., Кузнецова А.И., Кожевников В.А. Методика геометрического синтеза проволочных элементов крепления // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 2 (46). С. 152–156.
3. Упырь Р.Ю., Тимофеева М.В., Родионов Е.Д. О натяжении проволочных растяжек // Железнодорожный транспорт. 2014. № 4. С. 19–20.
4. Определение параметров проволочных элементов крепления : свидетельство 2015614952 Рос. Федерация. № 2015611528 ; заявл. 10.03.15 ; опубл. 20.06.15.
5. Королев В. Д. Канатное производство : учеб. пособие для металлургич. техникумов. М. : Metallurgy, 1980. 256 с.
6. Малиновский В.А. Стальные канаты. Ч. 1. Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. Одесса : Астропринт, 2001. 188 с.
7. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. Киев : Техника, 1966. 327 с.
8. Упырь Р.Ю., Тимофеева М.В. Динамическое напряжение как форма оценки состояния механических колебательных систем // Перспективы науки. 2013. № 12 (51). С. 62–67.
9. Кузнецова А.И., Упырь Р.Ю. Математическое моделирование структуры проволочных элементов крепления // Мир науки глазами современной молодежи : материалы Всерос. науч. конф. Ставрополь : Изд-во СКФУ, 2014. С. 160–16.
10. Упырь Р.Ю., Юркевич Е.А. Исследование надежности проволочных средств крепления // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск, 2017. С. 124–129.
11. Упырь Р.Ю. Динамика механических колебательных систем с учетом пространственных форм соединений элементарных звеньев : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск : ИРГУПС, 2009. 19 с.
12. Упырь Р.Ю. Возможности учета дополнительных упругих связей в математических моделях размещения и крепления двух грузов на железнодорожной платформе // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск, 2015. С. 100–102.
13. Туранов Х. Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок. Новосибирск : Наука, 2008. 375 с.
14. Туранов Х. Т., Псеровская Е. Д. Расчет продольного сдвига груза цилиндрической формы и усилия в элементах крепления при вариации количества крепежных элементов // Транспорт Урала. 2013. № 3 (38). С. 16–23.
15. Туранов Х. Т., Псеровская Е. Д. Математическое моделирование движения груза вдоль вагона при воздействии плоской системы сил // Транспорт Урала. 2013. № 4 (39). С. 11–18.
16. Turanov Kh. Analytical investigation of cargo motion lengthwise the wagon under the action of plane force system // Global Journal of Research in Engineering (GJRE-A). New York, 2013. Vol. 13. Issue X. Version 1.0. P. 7–16.
17. Туранов Х.Т. Элементы теории и примеры расчета креплений твердотельного груза на вагоне : монография. Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2015.
18. Упырь Р.Ю., Кузнецова А.И., Батхуяг П. Методика свивки проволочных средств крепления // Транспорт Урала. 2016. № 1 (48). С. 72–77.
19. Водопьянов В. И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами : учеб. пособие / В. И. Водопьянов, А. Н. Савкин и др. Волгоград : Изд-во ВолгГТУ, 2012. 136 с.
20. Елисеев С.В. Современное состояние разработок в области транспортной динамики / С.В. Елисеев, Р.Ю. Упырь, В.Е. Гозбенко Иркутск, 2009. Деп. в ВИНТИ 27.11.2009, № 739В2009.
21. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. М. : Юртранс, 2003. 544 с.

REFERENCES

1. Upyr' R.Yu., Kuznetsova A.I., Kozhevnikov V.A. K voprosu opredeleniya predvaritel'nogo natyazheniya provolochnykh sredstv krepeleniya [On the determination of the prestressing of wire fastening means]. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii* [Science. Engineering. Technology], 2014, No. 4, pp. 108–115.
2. Upyr' R.Yu., Kuznetsova A.I., Kozhevnikov V.A. Metodika geometricheskogo sinteza provolochnykh elementov krepeleniya [Technique of geometric synthesis of wire fastening elements]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2015, No. 2 (46), pp. 152–156.
3. Upyr' R.Yu., Timofeeva M.V., Rodionov E.D. O natyazhenii provolochnykh rastyazhek [On the tension of wire stretch marks]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway Transport], 2014, No. 4, pp. 19–20.
4. Opredelenie parametrov provolochnykh elementov krepeleniya [Determination of the parameters of the wire fastening elements]: Certificate RF 2015614952 No. 2015611528 ; applied Mar 10, 2015 ; publ. Jun 20, 2015.



5. Korolev V. D. Kanatnoe proizvodstvo : ucheb. posobie dlya metallurgich. Tekhnikumov [Cable production: Textbook for metallurgical technical schools]. Moscow : Metallurgiya Publ., 1980, 256 p.
6. Malinovskii V.A. Stal'nye kanaty. Ch. 1. Nekotorye voprosy tekhnologii, rascheta i proektirovaniya [Steel ropes. Part 1. Some issues of technology, calculation and design]. Odessa : Astroprint Publ., 2001, 188 p.
7. Glushko M.F. Stal'nye pod'emnye kanaty [Steel hoisting ropes]. Kiev : Tekhnika Publ., 1966, 327 p.
8. Upyr' R.Yu., Timofeeva M.V. Dinamicheskoe napryazhenie kak forma otsenki sostoyaniya mekhanicheskikh kolebatel'nykh system [Dynamic stress as a form of estimation of the state of mechanical oscillatory systems]. *Perspektivy nauki [Science prospects]*, 2013, No. 12 (51), pp. 62–67.
9. Kuznetsova A.I., Upyr' R.Yu. Matematicheskoe modelirovanie struktury provolochnykh elementov krepeleniya [Mathematical modeling of the structure of wire fastening elements]. *Mir nauki glazami sovremennoi molodezhi : materialy Vseros. nauch. konf. Stavropol' [The world of science through the eyes of modern youth: materials of the All-Russian Scientific Conference]*: SKFU Publ., 2014, pp. 160–16.
10. Upyr' R.Yu., Yurkevich E.A. Issledovanie nadezhnosti provolochnykh sredstv krepeleniya [Investigation of the reliability of wire fastening means]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]*. Irkutsk, 2017, pp. 124–129.
11. Upyr' R.Yu. Dinamika mekhanicheskikh kolebatel'nykh sistem s uchedom prostranstvennykh form soedinenii elementarnykh zven'ev : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. [Dynamics of mechanical oscillatory systems taking into account the spatial forms of connections of elementary units: author's abstract. Ph.D. (Engineering) thesis]. Irkutsk : IrGUPS Publ., 2009, 19 p.
12. Upyr' R.Yu. Vozmozhnosti ucheta dopolnitel'nykh uprugikh svyazei v matematicheskikh modelyakh razmeshcheniya i krepeleniya dvukh gruzov na zheleznodorozhnoi platforme [Possibilities of taking into account additional elastic connections in mathematical models of placement and fastening of two cargoes on the railway platform]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region]*. Irkutsk, 2015, pp. 100–102.
13. Turanov Kh. T. Teoreticheskaya mekhanika v zadachakh gruzovykh perevozok [Theoretical mechanics in the problems of freight traffic]. Novosibirsk : Nauka Publ., 2008, 375 p.
14. Turanov Kh. T., Pserovskaya E. D. Raschet prodol'nogo sdviga gruzha tsilindricheskoi formy i usiliya v elementakh krepeleniya pri variatsii kolichestva krepizhnykh elementov [Calculation of the longitudinal shear load of the cylindrical shape and force in the fastening elements with a variation in the number of fasteners]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2013, No. 3 (38), pp. 16–23.
15. Turanov Kh. T., Pserovskaya E. D. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya gruzha vdol' vagona pri vozdeistvii ploskoi sistemy sil [Mathematical modeling of cargo movement along the car under the action of a plane system of forces]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2013, No. 4 (39), pp. 11–18.
16. Turanov Kh. Analytical investigation of freight motion lengthwise the wagon under the action of plane force system. *Global Journal of Research in Engineering (GJRE-A)*. New York, 2013, Vol. 13, Issue X, Version 1.0, pp. 7–16.
17. Turanov Kh.T. Elementy teorii i primery rascheta krepelenii tverdotel'nogo gruzha na vagone : monografiya [Elements of the theory and examples of calculation of fastenings of solid-state freight on the rail car: monograph]. Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2015.
18. Upyr' R.Yu., Kuznetsova A.I., Batkhuyag P. Metodika svivki provolochnykh sredstv krepeleniya [The method of the lay of the means of wire fastening]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2016, No. 1 (48), pp. 72–77.
19. Vodop'yanov V. I., Savkin A. N. et al. Kurs soprotivleniya materialov s primerami i zadachami : ucheb. posobie [The course of resistance of materials with examples and problems: Textbook]. Volgograd : VolgGTU Publ., 2012, 136 p.
20. Eliseev S.V., Upyr' R.Yu., Gozbenko V.E. Sovremennoe sostoyanie razrabotok v oblasti transportnoi dinamiki [Current state of developments in the field of transport dynamics]. Irkutsk, 2009. Dep. to the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information (VINITI) on November 27, 2009, No. 739V2009.
21. Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepeleniya gruzov v vagonakh i konteynerakh [Technical conditions for the placement and fastening of freight in wagons and containers]. Moscow : Yurtrans Publ., 2003, 544 p.

Информация об авторах

Authors

Упырь Роман Юрьевич – к. т. н., заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: rpyr.roman@gmail.com

Давыдова Надежда Викторовна - аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: nadia.nadegda379@yandex.ru

Цэдэнбал Хурэлбаатар - аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: hurel_sbds@yahoo.com

Roman Yurievich Upyr' – Ph.D. in Engineering Science, Head of the Subdepartment of Operational Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: upyr.roman@gmail.com

Nadezhda Viktorovna Davydova – Ph.D. student of the Subdepartment of Operational Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: nadia.nadegda379@yandex.ru

Tsedenbal Khurelbaatar – Ph.D. student of the Subdepartment of Operational Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: hurel_sbds@yahoo.com

Для цитирования

For citation

Упырь Р. Ю. Возникновение и оценка динамического взаимодействия груза и вагона / Р. Ю. Упырь, Н. В. Давыдова, Ц. Хурэлбаатар // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 57, №. 1. - С. 8–15. -DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57).8-15.

Upyr' R. Yu., Davydova N. V., Khurelbaatar Ts. The emergence and evaluation of the dynamic interaction between freight and rolling stock. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, 2018, Vol. 57, No. 1, pp. 8–15. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.1(57).8-15